

電子モデルの育成をめざした「電流と電子」の指導

菅原 行夫¹ 大江 吉賢²

加藤 嶽一³ 新保 暢一⁴

この実践研究は菅原・藤田・武藤による“電流と電子”の指導と題する電流のモデル実験法の検討をふまえ、それについて実践を試みた報告である。まず、小・中学校での電流に関する指導の構造と関連が検討され指導計画を立案している。これにより、生徒の学習に対する能力の実態を調査し、学習計画を立案し、実践している。その結果比較的高度な内容を含む、電子モデルの形成、電子による電流現象の統一的理解を計ることが可能であることを確認している。

1 はじめに

中学校理科の第1分野においては、物質の概念（微視的には粒子概念）とエネルギー概念が基本的科学概念として取り上げられ、これらを主軸として内容が構成されている。また、学習を展開するにあたっては探究の過程を通して科学の方法を習得させることをねらっている。

したがって、「電流と電子」の項における指導上の重点は、電子モデルの形成・拡張・検証といったモデル思考に関する科学の方法を習得させること、金属原子と電子の力学的相互作用として電流現象を統一的理解させることであろう。

以上のことから、研究の問題点として、次の3項目を考えた。

- (1) 電流回路における水流モデルから陰極線における電子モデルへと展開する指導。
- (2) 電子モデルの創造、検証、限界、修正などに関する指導。
- (3) 電流現象を電子の力学的ふるいとして統一的理解させるための指導。

以下、実践研究による検討結果を概略まとめて報告する。

2 指導の流れ

(1) 電流教材に関する小中学校の構造と関連

小学校での指導項目は、電流の流れ方とその働きにまとめることができよう。それらの取り扱いは、現象の理解に重点をおき、定量的・論理的な考察は要求していない。中学校では、この現象の理解の上にならって、定量的・論理的にあつかい、電流に関する現象を統一的理解を深めることをねらっている。

このためには、電流の自由電子モデル、電気エネルギーの概念の指導が必然的となる。これらの指導の根底には小学校における学習にあることは言うまでもない。中学校では、さらに、電圧・電流の強さ、

1 新潟県立教育センター所員

2 北蒲原郡笹神村立笹岡中学校教諭

3 三島郡寺泊町立寺泊中学校教諭

4 長岡市立西中学校教諭

(2) 調査問題とその結果・考察

問題1 2つの同じ豆電球を右の図のようにつないであります。豆電球A, Bの点燈について

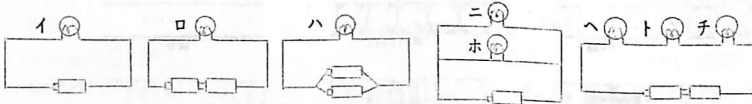
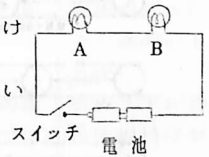
a スイッチを閉じたとき, A・Bの点燈する速さに違いがありますか。

イ. 同時 ロ. Aの方が速い ハ. Bの方が速い

b A・Bが点燈しているとき, 明るさの違いがありますか。そのわけも簡単に書きなさい。

イ. 同じ明るさ ロ. Aの方が明るい ハ. Bの方が明るい

c Aと同じ位の明るさに点燈する豆電球を次の図から選びなさい。



問a 解答率は、イ56%, ロ29%, ハ14%で、ロ・ハのしめる解答率が比較的高い。A・Bのスイッチ, 電源からの距離から判断する。電池を水源として考え, 単なる水を補給する道具としてしかとらえていない。水流的な思考の適用を間違っている。

問b 解答率は、イ68%, ロ20%, ハ13%で、ロ・ハの解答率が比較的高い。また、ロはハより多い。その理由は十極より電流が流れ、Aで、まず消費されて明るくなる。Bはその残りで、じゅうぶんに流れないから暗いという人が多い。男子の方がその傾向が強い。小学校で重点的に扱っているのに誤答が多い。理由の例をあげると、

イでは一電流が同じ。同じ豆電球。電球が直列。電源が同じ。⊕から⊖へ電流が流れる。A・Bに電池1個ずつの電流が流れる。

電球にかかる電圧が同じ。同じ1本の線につながっている。電池2個に豆電球2個。電池がやや中央にある（距離が同じ）。両方の電流がぶつかる。AとBに同じ電力がかかる。

ローAが使った残りをBが使うから。BよりAに速く電流が流れる。Aが⊕側だから。Aの方がスイッチに近い。Aの方に電球が明るくなる。⊕より⊖へ電気が流れる。⊕より⊖へ電気が強い。

ハーBの方に速く伝わる。電池からBまでの長さがAより短い。

問c イと答えた生徒がわずかに46%で予想外であった。電池の連結と豆電球の連結との相互関連の中で判断する。ロのように電池2個使用の考え方で解答する生徒が多い。(29%)

bのロの考え方で答える生徒が多かった。

問題2 くきの本数と目方の関係を調べたら右の表のようになりました。

本数と目方の関係を示すグラフをかきなさい。

また、このグラフを用いて次の問いに答えなさい。

- このような関係を何といいますか。
- くき30本の目方はどの位ですか。
- 70gのくきは何本位ですか。

くきの本数	くきの目方(g)
10	15.2
20	30.6
25	38.0
45	67.3
60	90.1

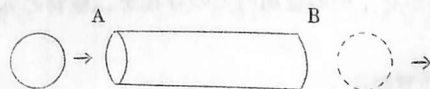
グラフを画くこと（直線にすること、座標軸の目盛のとり方）の能力はじゅうぶんである。

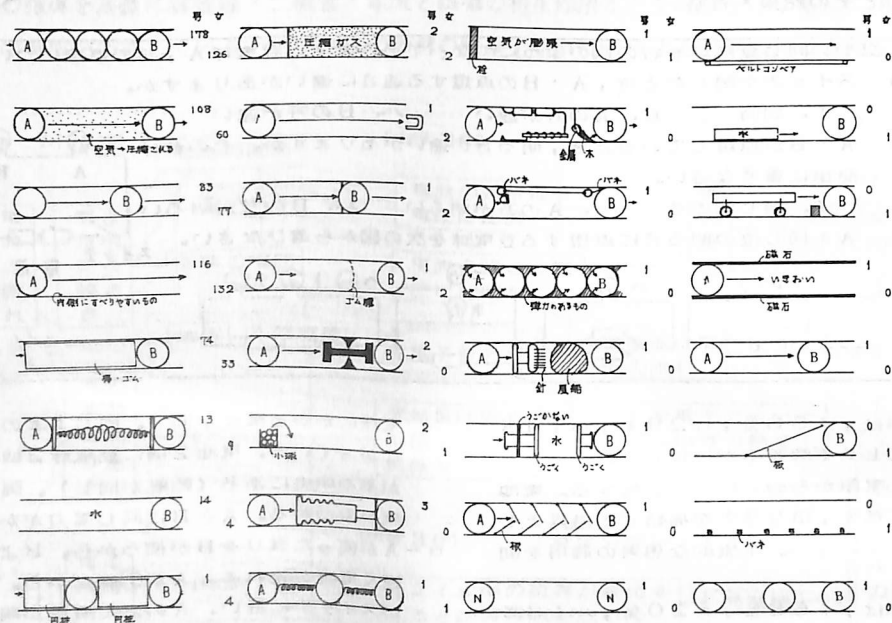
正答率はa77%, b64%, c57%である。

グラフから直観的に比例関係を大体つかむことが

できる。グラフと現象とを対比して考える能力はややおちる。くきの本数に端数をつけて答える生徒が多い。また、単に数字をくわしくたせばよいといった傾向もみられる。

問題3 円筒A Bがあります。この中のようすはまったくわかりません。しかし、円筒の長さは10cm, 内側の直径は2cmです。いま、Aから直径2cmの鋼球1個を押しこむと、同じような鋼球が1個Bからでてきました。このことだけから円筒の中がどうなっていて、Bから鋼球がでるかをいろいろ考えなさい。3つ位あげなさい。





(図1) 問題3の解答

全体に比較的常識的な思考をする生徒が多いが、中には、いろいろくふうして書いているようすがみられた。また、教師の気づかないところに目を

向け、生徒らしい創造力の芽があるところをみせてくれた。しかし、半数くらいの生徒は1~2程度しか考えることができないようである。

(3) 調査のまとめ

以上の調査結果をみると、電流に水流モデル的な思考を一応適用することはできるが、的確ではない。その原因は、電池を電流を流す道具としてしか考えず、その流れるわけに目を向けて現象をとらえない。科学の方法を学習に導入するに際して、データの処理といった面ではじゅうぶんであると考えられる。とくに、豊かな創造力、幅のある思考を展開する素地はじゅうぶんある。

4 指導計画

(1) 単元構成のねらい

① 水流モデルと陰極線

- イ 電流回路などの学習を通して形成された水流モデルを拡張し、適用限界のあることを理解させる。
- ロ 真空放電の現象を観察し、陰極線の存在に気づかせる。

② 電子モデルの形成

- イ 陰極線の実験・観察から、その本性は負電荷をもつ微粒子と考えれば都合のよいことを認識させる。

③ 電子モデルの拡張

- イ 金属中を流れる電流によって起る現象も、電子(自由電子)の流れとして統一的に理解できることに気づかせ、その金属内での存在を二極管の実験を通して確認させる。

項目	ねらい	学 習 活 動	時間	留 意 事 項	評 価
水 流 モ デ ル と 陰 極 線	<ul style="list-style-type: none"> ・水流モデルの適用を確認しその適用の限界を知る。 ・気体にも電流が流れることを知る。 	<ul style="list-style-type: none"> ・オームの法則を水流モデルで説明する。 ・オームの法則に従わない場合を考え、電球や電解液に流れる電流と電圧との関係は水流モデルで説明できるか話し合う。 ・気体にも電流が流れることを確認する。 	1	<ul style="list-style-type: none"> ・初歩的な水流モデルに慣れさせておくと同時にオームの法則の学習の定着をはかる。 ・オームの法則の適用限界の意識づけ。 ・放電現象に注目。 	<ul style="list-style-type: none"> オームの法則の理解。 水流モデルによる説明のしかた。 水流モデルの適用限界に気づいたか。
	<ul style="list-style-type: none"> ・真空放電現象を理解する。 ・陰極線を操作的に定義する。 	<ul style="list-style-type: none"> ・気体中に電流を流しやすくする条件を話し合う。 ・放電管内を減圧しながら、放電現象を観察する。 ・クルックス管のけい光を観察し陰極線を操作的に定義する。 	1	<ul style="list-style-type: none"> ・けい光燈、雷などに関連させること。 ・真空装置をできるだけ完全にする。 ・⊕側ガラス面のけい光に気づかせる。 	<ul style="list-style-type: none"> 条件があげられたか。 定義ができたか。
電 子 モ デ ル の 形 成	<ul style="list-style-type: none"> ・陰極線の存在を確認する。 ・陰極線のふるまいを理解する。 ・陰極線の電子モデルを検討する。 ・模型を使って陰極線の本性を理解する。 	<ul style="list-style-type: none"> ・金属十字板入りクルックス管の実験から、陰極線のモデルをいろいろ推論する。 ・それぞれモデルから予測できる現象を考え、回転車・偏向電極封入のクルックス管で確かめる。 ・各種クルックス管の現象と結びつけて陰極線のモデルを検討し、電子モデルにまとめる。 ・陰極線の模型をくふうし、それを使って陰極線のふるまいを確認する。 	2	<ul style="list-style-type: none"> ・極性をかえて、陰極から何かが放射されていることに気づかせる。 ・磁力による偏向はやらない。 ・力学的な見方・考え方でモデル化させる。 ・身近かで、手軽で簡単に作れそうなものとする。 	<ul style="list-style-type: none"> いろいろなモデルを、観察結果をふまえて、創ることができたか。 実験を説明できるモデルが考えられたか。 模型作成に必要な条件が考えられたか。
電 子 モ デ ル の 拡 張	<ul style="list-style-type: none"> ・金属中にも電子が流れることを推論する。 ・金属中の自由電子モデルをくふうする。 ・自由電子のふるまいから電流現象を統一的に理解する。 ・模型の改善から熱電子放出について推論し、確かめる。 	<ul style="list-style-type: none"> ・陰極線が陰極の金属から出たことから、金属中を電子が移動するようすを推論し、モデルをくふうする。 ・簡単な模型で電子の動きを確認する。 ・金属中に自由電子が存在することを確認し、その模型をくふうする。 ・電気抵抗の太さ、長さ、質のちがいによる模型をもちいて、電流回路、電圧と電流の関係などを観測し、まとめる。 ・自由電子モデルの模型を再検討し、それから電流による金属の温度上昇、熱電子放出について推論する。 ・二極管の構造を調べ、それを使って熱電子放出について推論を確かめる。 ・模型を使って学習をまとめる。 	1	<ul style="list-style-type: none"> ・金属中の電子の存在の有無に注目させる。 ・電圧・電流の概念を模型を通して定着させる。 	<ul style="list-style-type: none"> 導線内の電子モデルがくふうできたか。 データの処理のしかた。
			2	<ul style="list-style-type: none"> ・抵抗の太さ、長さ、質のちがいを考えられるような模型 ・生徒の模型実験は観察のみとし、測定結果は資料として提示する。 	<ul style="list-style-type: none"> 模型に電圧、電流の要素がうまくとり入れられたか。 電流現象の自由電子モデルによる説明。
			2	<ul style="list-style-type: none"> ・電気抵抗を電子の動きに対する原子振動による抵抗としてあつかう。 ・カソードの温度、プレート電圧によってプレート電流がかわること。 	<ul style="list-style-type: none"> 模型から導線の温度上昇が説明できるか。 熱電子放出を予想できたか。 二極管の原理

5 実践研究

(1) 水流モデルと陰極線

① 行動目標

場面 a 電流の学習から、次のことが確認できる。

- イ 金属を流れる電流はオームの法則にしたがい、水流モデルで説明すること。
- ロ 温度の変化する金属や電解質溶液ではオームの法則にしたがわぬ、水流モデルで説明できないこと。
- ハ 気体にも電流が流れること。

場面 b 真空放電の現象について、次のことができる。

- イ 気体中の放電を容易にするための条件をみつけること。
- ロ 真空放電の実験装置を理解すること。
- ハ 減圧にともなって、放電のようすが変わっていくことに気づくこと。

場面 c クルックス管の放電観察から、次のことができる。

- イ ガラス壁がけい光を発し、そのけい光はつねに陽極側にあることに気づくこと。
- ロ 陰極線を操作的に定義すること。

② 学習活動の計画

目 標	教師のはたらきかけ	予想される生徒の反応	留意事項	評価の観点
a-イ	<ul style="list-style-type: none"> 金属を流れる電流について、ある法則が成り立ったが、それは何か。 モデルで説明してみよう。 	<ul style="list-style-type: none"> (ニクロム線における電流と電圧の関係を思い出し) オームの法則。 水流モデル 電流→水量, 電圧→落差 	<ul style="list-style-type: none"> 既習事項を想起させる。 グループ討議。 	<ul style="list-style-type: none"> オームの法則の理解。 水流モデルによる説明が的確か。
a-ロ	<ul style="list-style-type: none"> オームの法則が成り立たない場合があるか。 どのようなときか。 前時のデータをもとに説明してみよう。 水流モデルで説明できるか? 	<ul style="list-style-type: none"> (前時の実験を思い出し) 成り立たない場合もある。 温度が変化する金属や電解質溶液に電流が流れるとき。 オームの法則にしたがわないことを確認。 できない。(水流モデルに問題点がありそうだ) 	<ul style="list-style-type: none"> 電流と電圧の関係に注意。 	<ul style="list-style-type: none"> 水流モデルに対する疑問をもったか。
a-ハ	<ul style="list-style-type: none"> 固体・液体と同様に、気体にも電流は流れるか? 気体に電流を流す。 (実験) 誘導コイルによる放電けい光燈の点燈 	<ul style="list-style-type: none"> 流れる。(雷など) 流れない。(電圧との関係) わからない。 雷のようだ。電圧は? 気体にも電流が流れる。 	<ul style="list-style-type: none"> 自然現象に目を向けさせる。 危険防止 	<ul style="list-style-type: none"> 気体に電流が流れることが理解できたか。
b-イ	<ul style="list-style-type: none"> 気体(空気)に電流を流しやすくするには? 	<ul style="list-style-type: none"> 高電圧 気体を薄くする。 	<ul style="list-style-type: none"> グループ討議。 	<ul style="list-style-type: none"> 条件があげられたか。

b-ロ	真空放電現象の観察 (実験)	・光が出る。 ・放電のようすが変化する。 ・気体の中に電流が流れる。	危険防止。 ガイスラー管 のようす。 電流計の針の 動き	観察をしゅう ぶん行なった か。
b-ハ	実験装置の説明 減圧にともなう放電 のようすがどうなるか ・真空度をさらに高くする とどうなるか。予想して みよう。	・ひかり方が変わる。 ・ひからない。 ・明るくなる。暗くなる。 ・電流が流れなくなる。	観察記録の活 用。	適確な予想が 立ったか。
c-イ	クルックス管での観察 ・予想とどうか。 ・ひかり方について気づ いたことがない。 ・ひかる側はどちらか。	・同じ。ちがう。 ・濃淡，明るさ，色が前とち がう。 ・⊕側だ。⊖の反対側だ。	クロス真空計 の活用。 極性を変える ことに気づか せる。	
c-ロ	陰極線の定義 まとめ	・真空放電をしたとき，⊕側 のガラスをひからせるもの。	グループ討議。	陰極線の存在 に気づいたか。

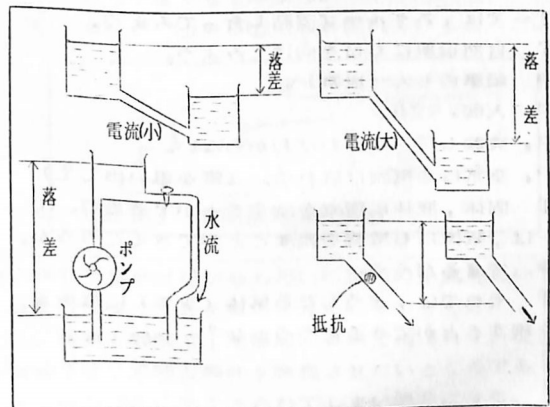
③ 学習活動の記録と考察

a-イ 水流モデルの確認

T オームの法則を水の流れにたとえて説明してみよう。

P₁ (OHPで資料を提示しながら) 管の太さを一定として，落差（水位の差）を電圧とすれば一定時間に流れる水量は多くなる，つまり電流は大きくなる。（抵抗が一定のとき，電流と電圧は比例する。）

P₂ 落差が一定でも抵抗の大きい場合（管の太さが細いとき，管の中に水の流れをさまたげるものがあるとき）は水は流れにくい。つまり，電圧が一定のとき，電流は抵抗に反比例する。



(図2) 水流モデル

回路における電流と電圧の関係を水流モデルでの水量と落差で類推させることはむづかしい。水流モデルを具体的に示す実験装置が必要であり，モデルと電流の流れ方を対比させ，じゅうぶん考察させる指導がのぞましい。生徒は，電流は流れるものとして直観的に理解し，電流を流すための電圧の存在に気づくものが少ない。

a-ロ 水流モデルの適用限界と疑問

T オームの法則が成り立たない場合はあるだろうか？（前時の確認）

P（前時の実験を思い出して），成り立たない場合もある。

T どのような場合だろう？

P 豆電球に電流を流したとき，電解質溶液に電流を流したとき。

T 豆電球に電流を流したときは豆電球がどうなったのだろうか？

P₁ 豆電球の線の抵抗が温度が高くなって変わっ

たから。

T 温度によって金属の抵抗が変化する場合だね。

T 前時に各グループで行なった豆電球，電解質溶液に電流を流す実験の結果をOHPで提示。

T 電流と電圧の関係はどうだろうか？

P₁ 電圧が高くなると電流は大きくなるが，比例していない。

T では，このことを水流モデルで説明できるだろうか？各グループで討議してみよう。

P できるかな・・・？ できないのではないかな？

P₁ むづかしいな・・・。

T できないと思う人・・・(大部分挙手)

P₂ できると思います。(洗濯機の水流を例に)

P₃ いや、できないと思います。

T 水流モデルは電流と電圧の関係を説明するのに最も良い方法だと思いますか?

T 水流モデルには問題点はないだろうか・・・?

P よくわからないが、問題点がありそうだ・・・。

水流モデルでは電流と電圧の関係を温度の変化する金属、電解質溶液などについて説明することが困難であることは理解できたと思われる。水流モデルで電気回路やオームの法則が統一的に理解され、その有用性が生徒の中に明確に位置づけられていないと、この段階では水流モデルに対する疑問も生じてこないのではないだろうか。また、導入されたモデルを一般化したり、拡張していくことがつねに成功するとは限らないことを具体的に経験させることもできないと考えられる。やはり、前時における水流モデルの指導が重要である。

a—ハ 気体にも電流が流れること

T 今まで金属、電解質溶液に電流を流したのですが、他に電流を流すことができるものはないだろうか?

P ...わからないようす・・・

T では、各グループで話し合ってみよう。

T 自然現象にも目を向けてみよう。

P 鉛筆のしん(炭素)。

P₂ 人間。

P₃ 実験してみなければわからない。

P₄ 空気にも電流は流れる。(雷を思い出して)

T 固体、液体に電流を流すことができるね。では、気体にも電流を流すことができるだろうか。

P できるだろう。

T それでは、どうしたら気体(空気)に電流を流すことができるだろうか?

P₁ 真空にする。(空気は電流を流しにくい)。

P₂ 空気の分子の抵抗を小さくする。

P₃ 空気は電気を通しにくい。前に水の中に塩酸を入れたら電気が通ったから、空気の中にも電気を通す物質(気体)を入れればよいと思う。

T なるほど、それもよい考えだね。他にどうだろうか?

P₄ 湿度を高くする。(ぬれていると感電する)

T 雷の場合はどうだろう。もう一度電流を流すときの条件を考えてみよう。

P ...わからないようす・・・

P₁ あっ、そうだ! 電圧を高くすればよい。

T では、ここで気体(空気)に電流が流れるかどうか確かめてみよう。

(実験) 誘導コイルによる放電

T 実験装置の説明(危険防止)。

T さあ、始めるぞ! どうなるかな? 注意して観察しよう。

P あっ、すごい! 雷のようだ。電圧はどれ位?

T 電流計をみてみよう。

P₁ 電流が流れている。

T さあ、今の観察から考えて・・・、電圧を高くすると・・・?

P 気体にも電流が流れる。

<生徒の観察ノート>

気体に電流を流すことができるかどうか?

(自分の考え、予想)

雷などは高い所で発生するので気圧が低い。だから電気が流れるのだろう。実験室では簡単に気体に電気を流すことはできないと思う。

(観察結果)

電圧を上げる。すると、すごい電気のビリビリするような音がして、白紫色の光がジグザグに流れて雷が発生したようだった。こんな実験ははじめて見た・・・。

この実験は、固体・液体に電流を流した後、気体にも電流が流れることを確かめ、真空放電現象に目を向けさせる導入段階である。

生徒にとっては、気体そのものに電流が流れるという考え方は意外にむずかしい。また、電気と電流のとらえ方がはっきりしていない。電気はあるが、電流は流れない、というような考え方を示す。電圧の概念が明確でない。放電のとき、電流が流れにくいときは電圧をどうすればよいのか、なかなか考えることができなかったようである。このことは電圧が具体的なイメージをもって生徒に定着していないことが原因と考えられる。

hーハ 真空放電現象の理解

T では、次に空気をうすくして電流を流してみよう。

(実験) 真空放電

T 実験装置の説明・・・生徒は興味をもっているようす・・・

T さあ、真空ポンプで空気をぬいてみよう。

P あっ、きれいだ。かっこいい。

T 電流計はどうか？

P₁ 針がふれている。⊖の方だ。電流が流れているのだな・・・

T 空気をぬいてゆくにしがって放電のようすはだんだんどうなってゆくだろうか。よく観察しよう。

<生徒の観察ノート>

管の中の空気をぬいてゆくと、うす紫色の光が管内を走って、その色が濃くなってきた。⊖側は紫色を帯びた光で⊕側へ近づくとだんだん赤色になり、全体が赤味を帯びた光に変わってきた。そのうす赤い光が時間がたつにつれ、うすれてきたようだ・・・

T 極を変えると電流の方向は？

P 反対になる。

T では、もっと高度な真空にしたら放電のようすはどうなるだろうか。予想してみよう。

P₁ 明るくなる。

P₂ 暗くなる。

P₃ 赤い色が消えてゆく(暗くなる)。

T では、やってみよう。

P あっ、暗くなった。予想とちがう。

T 次に、このクルックス管で観察してみよう。ガラスがどうなるかな？

P₁ われるぞ！

P₂ いや、われっこない。

T さあ、やってみるぞ！

P₁ あっ、ガラスがひかっている。反射しているのかな？

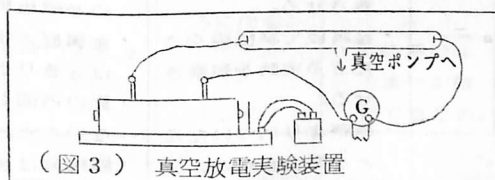
P₂ ⊖側の方からガラスに何かぶつかっているようだ。

T 電流計の針は？

P₁ ふれている。

T もう一度やってみよう。

P あれ！ ⊖から⊕に何か流れているようだ。



(図3) 真空放電実験装置

この実験では、ガイスレル管に誘導コイルを用い高電圧をかけながらしだいに管内の空気をぬいてゆくと、発光する。そのようすが真空度により異なってゆくことを観察させる。それをもとに、さらに高度な真空になったらどうなるか予想させる。実験・観察で、電極間が導線で結ばれていないにもかかわらず放電管中を電流が流れることを観察させ、疑問と興味を喚起させたいところである。ここでは、観察の視点を明確にしておかないと、他の現象に気をとられてしまい勝ちになる。

cーロ 陰極線の操作的定義

T さあ、今観察したものを陰極線と名前をつけるとしたら、陰極線とはどういうものだろう。皆が観察した結果から簡単に定義してみよう。

T 陰極線とは・・・

P 真空放電で、陽極側のガラスを黄緑色にひかせるもの。

陰極線が電流の正体であるらしいということは生徒も気づいたようであるが、この段階ではまだはっきりしていない。この後、陰極線に関する現象の観察からその本質を追求、討議し、その結果負電荷を有する微粒子の流れとしても理解できることから電子モデルを考えさせてゆく。

④ まとめ

この段階では、とくに電圧の存在を明確に、具体的に意識させることに重点をおきたい。そのためには電流回路の指導で、水流モデル(落差に相当するのが電圧)の指導を徹底させることが必要である。このような観点に立っての指導において、空気中(抵抗が非常に大きい)で電流を流すためには高電圧をかければ、といった発想が生まれてくると考えられる。

また、生徒に、モデルと対応させて現象を考えていく態度を育成することを指導の中に位置づけておくことにより、新しい現象から水流モデルの適用限界を認識し、さらにモデルの修正、新しいモデルの創造へと発展していくと考えられる。

(2) 電子モデルの形成

① 行動目標

場面 a 各種クルックス管の実験観察から次のことができる。

- イ 陰極線が全属板でさえぎられることから、なにものかが負極より放射されていることに気づくこと。
- ロ そのことより、陰極線の本性についていろいろのモデルを考えること。
- ハ 回転車、偏向電極封入のクルックス管での現象よりモデルを検討すること。

場面 b 陰極線の本性について次のことができる。

- イ 陰極線のふるまいから負の電荷をもつ微粒子と考えれば、つごうがよいことに気づくこと。
- ロ 陰極線のふるまいを説明する模型を考えること。
- ハ 模型を使って、そのふるまいを理解すること。

② 学習活動の計画

目 標	教師のはたらきかけ	予想される生徒の反応	留意事項	評価の観点
a-イ	<ul style="list-style-type: none"> 陰極線を操作的に定義させる。 金属板で陰極線をさえぎる実験を観察させる。 観察より気づいたことを発表させる。 	<ul style="list-style-type: none"> ガラスにけい光を発光させるものを陰極線という。 金属板と相似の拡大された影がはっきりとできたこと。 影の内側がけい光を発光していないこと。 陰極線は金属板でさえぎられることに気づく。 電極が変わると影ができなくなる。 負極側より、なにかが放射されているらしい。 	<ul style="list-style-type: none"> 影の形に注意させる。(けい光部と影がはっきりできる) 	<ul style="list-style-type: none"> 陰極線が操作的に定義できたか。 重要な点を落すことなく観察できたか。
a-ロ	<ul style="list-style-type: none"> 負極より放射されたものがどういうものであるか、そのモデルをグループで考え、まとめる。 それぞれのモデルより、どのような現象がおこるか予測させる。 	<ul style="list-style-type: none"> 水のようなものが負極より放射されている。 目に見えない光がでている。 小さな粒がとび出している。 	<ul style="list-style-type: none"> モデルとしては電磁波、流体、粒子がある。 	<ul style="list-style-type: none"> 陰極線の観察結果をもとにモデルが考えられたか。
a-ハ	<ul style="list-style-type: none"> 回転車入クルックス管での現象を観察して、気づいたことを発表させる。 偏向電極封入のクルックス管の現象を観察して気づいたこと 	<ul style="list-style-type: none"> 水なら下に何かたまる。 光ならラジオメータをまわす。 粒がとび出して衝突すれば力がはたらく。 回転車がまわったこと。 電極の\oplusと\ominusを変えると反対に回転する。 負極より放射されているものが衝突している。 負極より放射されているものには質量がある。 陰極線が正極の方向へ曲ることに気づく。 放射された陰極線は負の電気を 	<ul style="list-style-type: none"> 広い立場で予測させる。 今できるもの、できないもの、を明確にする。 実験観察と討議の中でモデルを検討させる。 	<ul style="list-style-type: none"> 考えたモデルよりおこる現象が予測されたか。 観察して気づいたことが発表できたか。 粒子であることに気づいたか。 陰極線が負の電荷をもっていること

	を発表させる。 ・この2つの観察よりモデルを検討してまとめさせる。	もっている。 ・水のようなものではない。 ・光でもない。 ・粒子だ。 ・負極より放射された陰極線は負の電気をもった質量のあるものだ。 ・陰極線は負の電気をもった微粒子の流れであるらしい。	・磁力による偏向はやらない。 ・負電荷をもつ微粒子の流れを徹底させる。	とに気づいたか。 ・実験を説明できるモデルが考えられたか。
b-イ	・陰極線の本性はどういいあらわせるかグループでまとめさせる。			・陰極線は負電荷をもつ微粒子の流れであると気づいたか。
b-ロ	・陰極線のふるまいを模型で示す必要な条件をグループで話しあわせる。 陰のできること。 回転車の回転。 負の電荷を有する。 ・各現象に応ずる模型を工夫し作製させる。	・粒子（電子）をガラス球，鋼球で示す。 ・電子の電圧による運動を斜面をころがる球（粒子）の運動におきかえることに気づく。 ・模型を工夫して作製する。	・一つの現象にしぼって考えさせる。 ・身近かで手軽な方法を考えさせる。 ・複雑な模型にならぬように注意。	・模型で示すための必要条件が考えられたか。 ・模型の作製ができたか。
b-ハ	・模型を使い，グループで陰極線のふるまいを確認させる。	・模型を使って，陰極線のふるまいを確認する。		・陰極線のふるまいが確認できたか。

③ 学習活動の記録と考察

a-イ 陰極線が金属板でさえぎられること

T 金属板入クルックス管での放電の観察から気づいた点は？

P 影ができた。

P 形は同じだが大きい影だ。

P ガラスに何かぬってあるのではないだろうか。

T よくわかるようになにがぬってあるのかも知れませんか。

P 真空だから光っているのだ。

T それでは \oplus と \ominus を交えてみます。

P 影ができない。

P 負極より陰極線が出ているのだ。

P 金属を通れないものが負極より放射されていると思います。だから陽極側に影ができると考えます。

金属板をたおして放電すると陽極側が発光することにより，陰極から陰極線がでていることを確認した。また，金属板を立てることによって影のできた部分には陰極線が到達していないことを理解させる。影は電極をかえらうとつらないことから，負極から放射されていることも生徒は容易に確認した。「ガラスに何かぬってあるのでは」という生徒もいたが，なぜ発光するかという疑問の解答でなく，光ることにより陰極線の実在性を確かめる方向へと指導を展開する必要がある。

a-ロ 陰極線の本性についてのモデル

T 金属板の影ができることで，陰極線が負極より放射されていることがわかりました。

それでは，この負極より放射されたものは，どんなものと考えればよいでしょうか。グループで話しあって下さい。（5分～7分）

T 発表してもらいます。

P 影ができたのだから，まっすぐとび出していると考えられます。だから光のようなものが出

ていると思います。

P 霧のようなもの，例えばスプレーのようにひろがって出ているのではないかと思います。だから影が大きくなってうつるのだと思います。光でなく霧のような粒だと考えます。

P 水のようなものが出ています。

P 水のようなものだったら，何かが下にたまるのではないのでしょうか。

- P 小さな目に見えない粒が出ているのでは、
 P 粒が出れば、出る側の負極がだんだんへって
 いくのではないかと思います。
 T グループの発表の中で、モデルに対する反論
 もあるようですか、そのモデルが正しいとすれ
- は、どんな現象がおこるでしょうか。
 P 水であれば何かが下にたまる。
 P 粒であれば、それがぶつかってどこかにとん
 でいくはずだ。それはどこへ行ったのだろう。
 P 粒が衝突すれば力がはたらくはずだ。

予想された水流、粒子、光の3つのモデルが出たが、現象面の説明の中に光の場合について発表されなかった。また、粒子という言葉は前単元に学習したせいと意外と早く生徒の中より出てきた。光であればラジオメータを回転させるはずであることに気づく生徒もあってよいと思った。生徒は負極より出たものが直進しているはずだということに気づいたと思われる。また、水のようなものでないことも理解できたと考える。

a-ハ 回転車の運動より陰極線は質量をもった粒子の流れであること。

- T 金属板の実験より、陰極線は、「光のような
 ものだ、霧のようなものだ、目に見えない粒だ」
 といういろいろ考えてみました。もし陰極線が粒で
 あれば力が働くはずだ、という考えもありまし
 たので、このクルックス管で観察してみたいと
 思います。
 粒であればこの回転車はどうなりますか。
 P まわるはずです。
 T なぜ粒だとまわるのですか
 (しばらく沈黙)
 P 粒だと重さがあるからじゃないか。
 P そうだ、重さがあるから相手に力をはたらか
 せるのだ。
 T それではスイッチを入れます。
 P まわった、きれいだ、
- P じゃあ、粒だ。
 P 光っている。
 P 光ではないか。
 P 光なら明るいとき、いつでもまわるはずだ。
 T 陰極線は？
 P 粒だ、
 T それでは \oplus と \ominus を入れかえてみます。どうな
 ると思いますか。
 P 反対にまわるはずだ。
 T それではそのとうりになるかやってみます。
 P 反対にまわった。
 P やっぱり粒だ。
 T それでは陰極線を粒と考えてもよいですか。
 P はい
 T 陰極線は質量のある粒の流れですね。

ここでは活発な発表があり、どんどん進んでいった。ただ、粒に質量があるという意見がなかなか出ず、少なからず驚かされた。しかし、授業をやっているリズムがあって楽しい。生徒は陰極線が粒子で質量のあることを確認した。ただ、教師の失敗として、光説を打ち消すには実際に光をラジオメータと回転車入クルックス管にあて比較しながら観察させればよかった。

a-ニ 偏向電極封入クルックス管の観察から、陰極線は負の電荷をもっていること。

- T 回転車の回転によって陰極線は水でもなく、
 光でもなく、粒である。しかも、質量のある粒
 子の流れであることがわかりました。この実験
 装置でもう少しくわしく性質を調べてみたいと
 思います。それではスイッチを入れます。
 P 線がうつった。
 T 電極を反対にしてみます。
 P 線がうつらない。
 P やっぱり \ominus より出てくるのだ。
 P どうして \ominus より出るのだろう。
 T それでは上に \oplus 極、下に \ominus 極を接続して電圧
 をかけます。
 P 上にまがった。
- P 少しだけれど上にまがっている。
 T なぜまがったのでしょうか？
 (1~2分)
 P (大きい声で) \ominus だから \oplus にまがったのだ。
 P そうだ、そうだ、
 T それでは上を \ominus 極、下に \oplus 極にするとどうな
 るはずですか。
 P 反対に下へまがるはずだ。
 T そうなれば確に陰極線は負の電荷をもってい
 るはずですね。やってみます。
 P やっぱり下にまがった。
 T 陰極線は負の電荷をもっています。
 P 陰極線は \ominus から \oplus に動くわけを解ったぞ。

生徒の反応は実に早い。またたく間に負の電荷をもっていることを確認してしまった。実験観察の必要性をまのあたりに見る感じがした。

b-イ 陰極線は負の電荷をもった粒子の流れと考えれば都合のよいこと。

- T 金属板入のクルックス管、それに回転車の回
 転、偏向電極による偏向と観察してきました。

た粒子の流れです。

(全班が表現は異なっても内容は一致)

T それでは、ここで前の陰極線の定義を“陰極線は負の電荷をもった粒子の流れである”と
 してよいですね。

グループの話しあいを見ていると内容的には陰極線の本性をついているが、一つにまとめるとなると生徒には大変だ。とくに、「高電圧をかけると負よりとび出す」とか「真空にしたとき負より放射される」というように全部説明しなければというような考えが多く、定義とか法則というものの単純化ということは難しいようだ。

T 陰極線の性質というものがわかってきました。

しかし、この陰極線を手にとってみることはできません。そこで、これからみなさんと、この陰極線のふるまいを模型を使って確かめたいと思います。もちろん模型はありません。そこでこれから、君たちにその模型を作ってもらいたいと思います。OHPのシートにグループで相談してかいて下さい。

T それでは相談してシートにかいて下さい。
5分～

P できた。

T うつして、説明して下さい。

P (図4をうつして)，鉄の玉を粒子にし，高い所からころがします。この高さの違いを電圧とします。(生徒の中より“なあんた高くすればよいんだ，それが電圧か”という声あり)途中に磁石をおいてころがる方向を変えます。この磁石が⊕極です。

T なるほど、これは粒子が負の電荷をもっていることの模型ですね。

(話しあっているが意味がよくのみこめない)

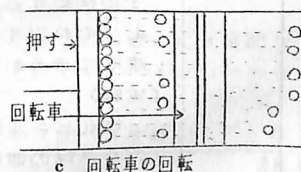
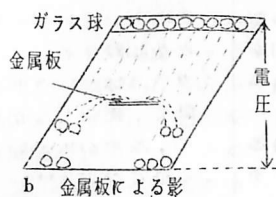
T まず模型に必要な条件を考えてみて下さい。

P 粒子をガラス玉かパチンコの玉にする。

T 粒子を動かす力，電圧をどうしますか？

P 磁石をつかえばよい。

T 強い磁石が必要ですね。



(图 4)

粒子をガラス球、鋼球にすることはどのグループもすぐ気づいたが、電圧を落差にすることに容易に気づかない。磁石を使ったり、モーターを所ったり、複雑な構造を考える。電圧が定着していない証拠である。また、生徒は一つの模型で陰極線の性質を全部説明しようと考え込んでしまう。モデル思考については、まだじゅうぶんでない。単純で、手軽な、誰もが理解できるモデルを考えさせたい。上の図はモデルの中の代表的なものである。

模型を使っでの学習では磁石がうまくいかない。斜面を利用したグループは楽しそうに学習していた。ただここで忘れていけないことは、これが電子だ。これが電圧だということを模型と対比して生徒の頭の中に定着させて学習させることである。

④ まとめ

なデ表が考たたる。近モ究とこされる。身をたな難化考と。微みか違て純をた。特てなくつ単ルん。その追大かし、モウ。をなと、示、ゆし。理想、想し、指もし。整く質のう確に。をい師より明あ着。裏て子教しをて定。うつ、粒て現件徒の。うま、り表条生容。いせ化て考た内る。とヘルきル思え習あ。性デテデ。考でて。た本モし。考で。の庄出のルのべ。が線電びつこデる。ま極と一多まおい。視が陰に部がな重。線に単全難を。極つて簡を場復や程。陰よえが事なし。に過。陰に考、たきかなそ。極化と子。たきかなそ。①ルだ粒しでし分。たモ易。察が。自く。たち容た。徳とたは。な。つちが。いほこし。は。わわ師てて。る感え。要。まな。教。い。痛。か。必。が。す。考。つ。考。を。必。車。れ。と。を。と。お。望。転。と。さい。化。ル。の。を。回。こ。さい。化。ル。な。件。ル。た。す。ろ。に。モ。な。必。モ。でき。現。い。逆。効。の。な。た。て。表。う。ら。有。化。要。れ。が。い。ず。し。ル。必。き。に。成。事。ル。さ。判。え。し。め。め。完。

(3) 電子モデルの拡張

① 行動目標

場面 a 自由電子モデルによる、金属中の電流について、次のことができる。

- イ 陰極線は電子の流れであることから、金属中にも電子が流れていると推論すること。
- ロ 簡単な模型で、推論を確かめること。(オームの法則)
- ハ 金属(結晶)中の電子の存在を理解すること。(金属中の自由電子)
- ニ 電流の流れ方(抵抗, ドリフト速度, など)の模型をくふう・実験し, 検討すること。

場面 b 金属中の自由電子によって、次のことを模型を使って予測し, 検証することができる。

- イ 抵抗線における熱の発生
 - ロ 真空管における熱電子放出
- }(ここでは省略)

② 学習活動の計画

目 標	教師のはたらきかけ	予想される生徒の反応	留 意 事 項	評価の観点
a-イ	<ul style="list-style-type: none"> 陰極線の性質を復習させる。 陰極線(電子の粒)がどこからきたか推論させる。 	<ul style="list-style-type: none"> 導線(陰極の)中から。 電池(電源)から出て導線を通して出てきた。 	<ul style="list-style-type: none"> 電子はもともと金属中にあったものとしてとらえさせる。 	導線内の電子の移動モデルのくふう。
a-ロ	<ul style="list-style-type: none"> 電圧, 電流を考えながら, 導線内の電子の運動模型を考えさせる。 	<ul style="list-style-type: none"> 初歩の水流モデルをまねするもの, 磁石の球, 鉄球, ビーズなどいろいろ出よう。 	<ul style="list-style-type: none"> 電圧は斜面での落差, 電流は毎秒通過する個数で与えられる。 	
a-ハ	<ul style="list-style-type: none"> 簡単な模型で, 導線内の電子の移動するようすを観察し, それでオームの法則を説明できるか確かめさせる(実験) 塩化ビニル管の中を通るガラス球の運動のようすを観察させ, 落差と個数/秒との関係を調べさせる。 	<ul style="list-style-type: none"> 塩ビ管でガラス球の動きについて気づいたことを記録する。 ガラス球がジグザグに動く, 衝突しながら動く, 落差が大きいと速く動くなど…… 結果のグラフから, 落差と個数/秒との関係は比例していることに気づく。 	<ul style="list-style-type: none"> 落差と球の速度の関係に気づかせる。 落差と個数/秒との測定値は与えてやる。 	観察から落差と球の速度の関係に気づいたか。
a-ニ	<ul style="list-style-type: none"> 金属中の電子の動きについてのモデルとして, 塩ビ管模型では不満足な点を出しあい, 抵抗の太さ, 質, 長さのちがいによる電流の流れ方のちがいがみれる模型をくふうさせる。 	<ul style="list-style-type: none"> 中空の筒を電子(粒)が動くのではなく, 粒と粒のすき間をさらに小さな粒(電子)が動くなどのモデル。 太さ一通路の幅, 質すき間のちがい, 長さ一粒の並びの長短などに気づく。 	<ul style="list-style-type: none"> 電流回路の学習物質と原子の学習を定着させておく。 	データーの処理のし方が適確か。
a-ニ	<ul style="list-style-type: none"> 代表的な模型を使って, 次のことを観察, 測定させる。 	<ul style="list-style-type: none"> 模型を使った実験のようすを班内で話し合い気づいたことを記録する。 	<ul style="list-style-type: none"> 電圧, 電流を模型ではどうとらえるか。 代表的な模型を作成しておく。 模型による測定値などは与える。 	自由電子モデルのくふう。

（実験）

模型の通路の幅（導線の太さ）、通路の質（比抵抗）のちがいによるガラス球の運動のようすを観察する。

（演示）

通路の長さ（抵抗体の長さ）のちがいによる鋼球の運動のようすを観察させる。
・観察結果を発表させる。
・測定結果のグラフを電流回路、電圧と電流の関係などと関連させて理解させる。

- ・広さがちがっても速さは同じだ。
- ・およそ広さの割合にガラス球がわかる。
- ・質がちがうと速さにちがいが出る。
- ・同じ通路の中でもガラス球に速いものとおそいものがある。
- ・球が動くのがゆっくりだ、どこを通過していくのもおよそ同じ速さなどいろいろ……
- ・グラフを見て、どれもオームの法則がなり立っていることに気づく。

- ・自由電子のふるまいから、これまでの学習を整理し、まとめておく。
- ・ドリフト速度に気づかせる。
- ・くき打ち板の材質はホモゲンホルツがよい。
- ・データー処理はやや時間がかかるので事前に、 $T \cdot P$ に書いておく。

並列回路の電流の流れ方を模型で説明できるか。
通路の質が同じであれ電子の運動速度は等しくなることに気づいたか。
自由電子モデルで既習内容を説明できるか。

b-1

- ・電球を使つての電圧、電流の関係を説明するには模型をどう改善したら……

（以下省略）

③ 学習活動の記録（一部抜すい）と考察

a-1 全属中にも電子が流れることの推論

陰極線の本性についての復習のあと、陰極線の電子はどこを通過してきたかという発問に対して、導線の中を通過してきたという反応があり、その後のようすを次にのせる。

T 電子は導線の中をどんなにして通っていくのだろう。そのようすを班で相談し、図にかいてみてください。更半紙はいくら使ってもよい。

P （A班の討議から）

- ・電子が陰極の方からとび出したんだろ。そうせばや、導線を電子がつたわってきたことになる。電気はや、導線の中を通るんだろ。外を通るわけねえろ。
- ・じゃ、なんでや、外にさわるとビリッとくるんだいや。だすけや、このあたり（図にかきながら）までうわつらを通っていることにしようや。電気は導線のうわつらも通っているろ。だすけや、どこにさわってもビリビリビリとくるんだいや。
……（途中、ききとれず）……
- ・でもや、どうなつて粒がいくがあや。なんでながれているんだいや
- ・電源装置だろう。
- ・そこまで考へたっていいろ。
- ・だも、おすがかや、ひっぱるがらねえかや。
- ・おおすがらう。
- ・第一や、電源が、電圧がおすがろ。粒がボ

ンボン出てくるがろう。そして導線の中はうしろからだんだんつまってきたんだろ。

- ・ならんでくるんだろ。
- ・あのや、導線はギリギリいっぱいすき間がないほど粒がつまっていたや……（以下ききとれない）……

- ・これが導線とせばや（図-5を書いて）、ここを通過しているがあらうかな。すき間があるがあらうかな。

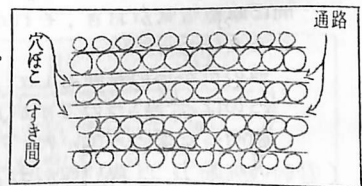


図-5

- ・（すき間が）ねえければ伝わらんろ。
- ・第一、粒らがんにや、すき間がねえければ通らんねろが。
- ・でもや……？
- ・でもや、でもや、導線というのは物体だろう。

電子というのはもっと小さいもんだろ。

- ・だすけや、一応すき間があるとてや、仮定してや、

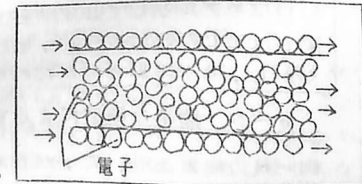


図-6

導線を何百、何千倍に拡大してや、こうなっ

て(図-6), 点々々々となっているがある。

・でもや、導線だって分子の粒だねえがけ。

それでや、そのすき間があるんじゃないかねえか。

それで電子はもっと小さいんじゃないかねえか。

・お、そうせばやこれで(図-6)いいんじゃないかねえか。そして全体がグゲーと動けばいい。

・そうだな。

予想外にどの班も意欲的にとり組み、現象を無理なく説明しようという努力がうかがえる。ただこの中に、電源のはたらきとして「電子を押し役目」としてとらえていながら、一方では「後からつまって・・・」と表現していることが気になる。これは電源が電子の供給源としか考えないからである。また、電流の強さについてはまったくふれられていない。しかし、不完全ながら、初歩的な自由電子モデルまで、生徒の話し合いだけでも進められることがわかったことは大きな成果である。

a-1 導線内の電子の運動模型の考察

T 導線の中を電子が動いていくようすの模型を、各班とも発表してもらいます。

— 以下、各班ともO・H・Pを使って発表 — (そのおもなものをあげる。)

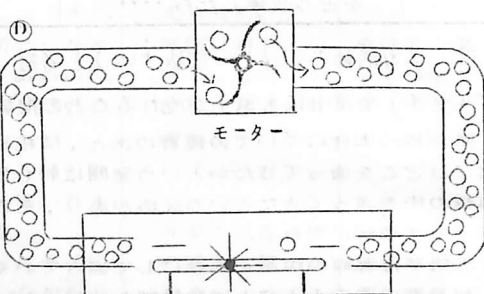
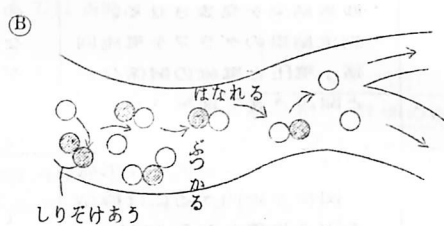
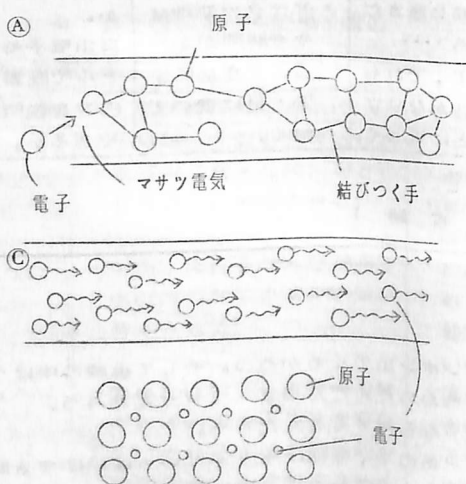


図-7

〔A図の解説〕 電子が電子に衝突すると、その間に摩擦電気がおき、それが結びつく手のところを伝わっていく。

他の班からの質問として、「摩擦電気というのはどういうのですか」というのがあり、説明にとまどっていた。

〔B図の解説〕 「黒い粒が \oplus 、白い粒が \ominus とすると、白いのと白いのがぶつかりあって、しりぞきあったりしてうごいている。 \oplus のところのまわりでは \ominus の粒とわかれていって・・・

まだ、そこのところはよく話し合っていないのでわかりません。」

〔C図の解説〕 C図の下図のように、原子の間をめぐって、全体としては上図のようにジグザグに進むのであろう。

(この班はこのモデルを作る前にD図に似た閉じた回路を作っている。)

〔D図の解説〕 図のように上のモーターで1つ粒を右に押しこめば、あとすべて1つずつおし出されていく。

導線の電子モデルとしてはそれぞれイメージ化されるが、それらを具体的な模型にすることに抵抗があるようだ。できるだけ単純に、または、立体を平面的に力学的な運動として模型化させていくことに対する訓練も必要と考える。B図など \oplus の粒と \ominus の粒の大きさに(質量にも)注目させていけばモデルとしてはすばらしいものになろう。D図などは実際に作成したとしても考えるような動きは生じないだろうが、電圧とか金属中の電子の存在など正しい判断ができていっていると考えてよい。しかし、電子の動きにこだわり、動かす力を忘れる者がいることに留意する必要がある。

a-10 簡単な模型による電子の動きの推定(塩化ビニル管を用いて)

図-8の装置を用いて、ガラス球の動きを班単位で観察したことを記録しておく。

T 観察から気づいたことを発表してもらいます。

P 線の下を通る。（管の下の部分を通る）

P （多くの生徒「当たり前・ねかや」・・・笑・・・）

T ははー、なるほど。その班で考えたのは多くの電子は管の中全体を動いていくのだったね。そうした面では少しこの模型ではおかしいということになるんだな。たしかにそういう面ではおかしいようだ。あとでさらにによりよい模型をくふうしてもらうことにしよう。・・・まだ他に・・・

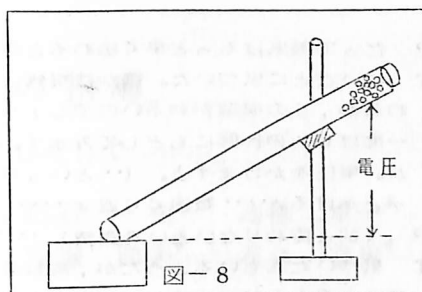
P 質問なんですけど、同じ落差でも、こう（手まねしながら）つづいていくところと、はなれていくところがあるんですが、実際に導線の中でもそういう現象が起るんでしょうか。

P （おう、そうそう）はい先生、はい、先生、不連続なところがあるということは電流が流れないと考えてよいのですか。

P （はい先生）、ぼくたちの班では電子は原子より小さいと考えたので、不連続ということとは電気が通るということにはあまりさしつかえないと思います。

T なるほど、確かにそう考えてよいだろう。しかし、○さんのいった現象が非常に小さな世界

で考えれば、ありうると考えてよいでしょう。・・・他に・・・



P 落差が小さいほど球のゆれが大きい。

T すばらしいことに気づいたね。これはくわしくは高校などへいって勉強して下さい。他に・・・

P 落差が小さいと粒と粒のぶつかりあいが増えてくる。

P どっと一度にいかないで、同じ速さで少しずつ流れる。

T ...他に... ..別にないようす。

T では、はじめ予想もしなかったいろいろな動きに気づきましたが、一応この模型で考えられる電子の動きについて、このように（板書をさして）まとめられる。どれもみんなよいところに気づいている。・・・さて、それでは・・・

電子の目に見えない動きのため、ガラス球の動きを見ても、これが電子の動きに実際にあてはまるのかという不安をいだいていた。しかし、話し合いの中から生徒なりに電子の動きに対するイメージ途中で衝突しあっている、全体としては等速運動をしている（そういう運動になるように材料をくふうしてある）など一を描くことができた。一方、生徒の描いたモデルより、単純すぎて、ものたりない面はあったが、それだけに次時の模型づくりに、抵抗の概念を明確にできた。

また、予想外の要素まで気づく者もいたり、電流の量概念（毎秒通過する個数）の確立に役立つなど、上の模型実験は電流の学習には欠くことができないものといえる。

a-2 クギ打ち板による模型実験

T 今度は導線の長さによる抵抗の変化を、さらにみんなが今まで描いていたものに近い模型で、電子の動き（パチンコ球の動き）で調べてみよう。・・・みんなの考えたと大部分がこんな（図-9）状態で電子があるということだね。

P （多勢が）ちがう。もっといっぱい。

T よし、いま、パチンコ球の球がこれだけしか（約400個）ないから、これではまんしてもらおう。では、この球を動かすには、どうしたらよいだろう。

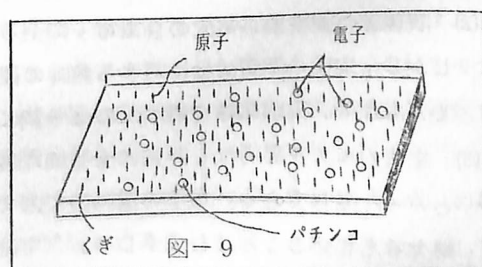
P （多勢が）傾ければいい。

T よし、傾けるということは電流回路でいうと何にあたるのだ。

P （口々に）電源、電圧をかける

T では・・・途中、一部省略・・・

T では、パチンコ球の動きについて質問や気づいたことはないですか。



P 途中でつかえるのがある。

P パチンコ球同志でもぶつかるのがある。

P （途中、やっているのを見て）
・・・競馬だ・・・ようし、おれが勝った。・・・
・・・ここへ穴があればいいな・・・（笑）・・・

P こんなにおそいんですか。

P おそいわねえろ。こらあパチンコだねかや。

T いいところに目をつけたな。どうしてそんな質問したんだ。

- P だって電気はもっと早く伝わると思います。
- T いいことに気づいた。確かに電気はバツと伝わるが、この模型がわるいのでしょうか。もう一度ははじめの状態にもどしてみます。いいですか。電圧をかけますよ。(・・とって片側をサッとあげる。……数回くり返す……)
- P (前と変わらないという表情) ……
- T 気づいた人もいるようだが、落差をつけると同時にFから球が出るね。でも上の球はまだこの辺しかきていない。だから電子そのものの動きは速くないが、電子の動きの伝わりが非常に速い。トコロテンみたいに、こっちからおせばそっちでツルッと出ると同じと考えてよい。
- P (実験中、クギがぬけるのに気づく者あり)
- T くぎがぬけてきたな。これはどうしてだ。
- P パチンコが何回もあたったから。
- T 球があたればどうしてぬける?
- P くぎが動かされる。
- T よし、そのことについては次時にくわしくやることにして、この測定結果を調べてみよう。

生徒の描いた電子モデルに近いため、生徒の反応は一層活発となった。さらに電子の運動のようすを明確にした。その上、次時にくる熱電子放出への説明の糸口もとらえることができた。

④ まとめ

本教材の指導前に、物質構造のモデル化の定着の必要を強く感じた。また、電源は電圧を作り、電子を補給する。電流は金属内の電子の運動であり、その強さは1秒間で通過するその数で示されることなどを正しく指導したい。これは水流モデルの中でじゅうぶん指導され得る概念であり、ここに水流モデルの実験指導の重要性もある。一方、以上のような生徒の能力があれば、はじめから模型を与え、その中で、電流現象の諸要素を考えさせることもよいと考える。ただ、全体を通じて感じたことは、モデル化はできても、力学的な使える模型のくふうはむずかしい面もある。しかし、こうしたモデル実験を通して、生徒は目にみえない電子現象を具体的イメージとしてもつことができた。

6 おわりに

以上、“電流と電子”における電子モデルを中心としたモデル思考に関する指導と電子による電流現象を統一的に理解させるための学習に重点をおいた実践研究の概要を報告した。

この実践研究の結果は、次の3点に要約することができよう。

- (1) 学習の展開にあたっては、生徒自から問題を発見し、解決を計らせることを立前とした。その間、思わぬ時間の要することもあったが、生徒は生き生きと学習を展開した。
- (2) 陰極線の観察から電流の自由電子に至るモデル思考には、生徒は非常に興味と関心を示した。しかし、生徒の学習活動に対する教師の観察と適切な助言・指導が不可欠の要素であることはいうまでもない。実践記録で述べたのは一例にしか過ぎない、今後の多面的な検討が課題である。
- (3) 生徒のモデル思考は、非常に皮層的に終り易い。陰極線は電子である。電子は動くと言われ電流となるといった発想である。電子の運動の要因である電圧(電位差)に目を向け、電場の中での電子の運動を考えさせることはむずかしい。“電流と電圧”における水圧による水流モデルの指導が問題となる。

実践研究を終るにあたって、金属中の自由電子モデルから電流の発熱作用・二極管の働きへと展開する部分を検討することのできなかったことを非常に残念に感ずる。次回に期したいと思う。

なお、この実践研究を実施するにあたっては、笹岡中学校長山名正平先生、寺泊中学校長早川恭二先生、長岡西中学校長動山政雄先生はじめ、協力・助言をいただいた諸先生方に厚く謝意を申し上げる。

主な参考文献

菅原・藤田・武藤：研究集録第4集 理科研究編(2) P.123～132 (1971)